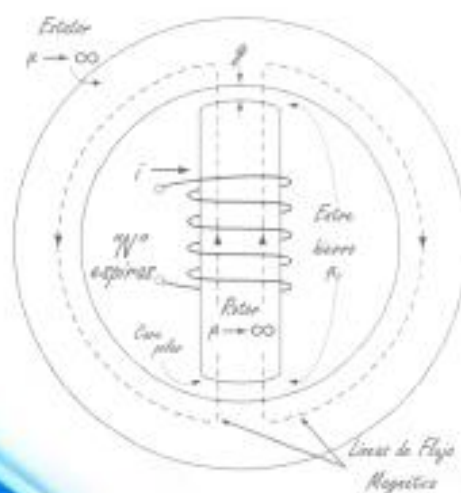


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA

Circuitos Magnéticos y Máquinas de C.D.



AUTOR:

MC JORGE LUIS ARIZPE ISLAS

EDICIÓN:

MC SILVIA EUGENIA CÓRDOVA URBIOLA



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

Jesús Ancer Rodríguez

Rector

Rogelio G. Garza Rivera

Secretario General

Rogelio Villarreal Elizondo

Secretario de Extensión y Cultura

Esteban Báez Villarreal

Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Ave. Universidad S/N, Ciudad Universitaria

San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 66451

Teléfono: (81) 83294020

Página web <http://www.fime.uanl.mx/>

Primera Edición, 2013

©Universidad Autónoma de Nuevo León

© Jorge Luis Arizpe Islas, Silvia Eugenia Córdoba Urbiola

ISBN: 978-607-27-0210-3

Reservados todos los derechos conforme a la ley.

Prohibida la reproducción total y parcial de este texto sin
previa autorización.

Impreso en Monterrey, México

Printed in Monterrey, México

ÍNDICE

Prologo

Introducción

Prácticas

1. Comprobación de la Ley de Faraday, Ley de Lenz y del valor de la inductancia.
2. Curva característica de un material ferromagnético (curva de magnetización.
3. Curva característica de un material ferromagnético (lazo de histéresis).
4. Medición de las pérdidas en los materiales Ferromagnéticos.
5. Estudio elemental de una máquina de corriente directa
6. Características de vacío de un generador de corriente directa excitado por separado y auto excitado.
7. Características del generador excitado por separado y auto excitado paralelo con carga
8. Prueba de vacío de un motor de corriente directa con campo en derivación, control por campo.
9. Prueba de carga de un motor derivación
10. Prueba de carga en un motor compound

Bibliografía

PROLOGO

Esta obra está dirigida a estudiantes de ingeniería con especialidad en eléctrica de nivel medio superior y superior, así como a toda aquella persona interesada en los principios fundamentales que rigen el comportamiento de los circuitos magnéticos y en la forma de aplicarlos al estudio de las máquinas de corriente directa.

En este sentido, el objetivo principal de un primer curso que abarque los circuitos magnéticos y su aplicación a las máquinas eléctricas en general y de Corriente Directa, debe ser el de desarrollar en el estudiante de ingeniería la capacidad de analizar cualquier problema con una metodología que le permita aplicar para su solución algunos principios básicos cabalmente comprendidos. Por lo que, con ésta obra se pretende ayudar al estudiante a adquirir un grado de comprensión conceptual tal que le permita la futura adquisición de destrezas, habilidades y competencias necesarias para la resolución de problemas.

En éste documento se incluyen temas que abarcan los principios fundamentales necesarios para el análisis de las máquinas eléctricas, tales como:

- ✓ Fundamentales del Electromagnetismo,
- ✓ Campo magnético producido por cargas eléctricas en movimiento,
- ✓ Flujo magnético, densidad de flujo y fuerza magnetomotriz
- ✓ Teoría de los dominios magnéticos
- ✓ Propiedades de los materiales ferromagnéticos, curva de excitación y de histéresis
- ✓ Voltaje inducido, y su valor eficaz, promedio, máximo.

- ✓ Factor de apilamiento y sección transversal variable.
- ✓ Polaridad en bobinas
- ✓ Polaridad en transformadores
- ✓ Determinación de pérdidas en el núcleo
- ✓ Análisis del transformador elemental

MC JORGE LUIS ARIZPE ISLAS

Octubre 2013

INTRODUCCIÓN

El amplio uso y el desarrollo creciente que ha experimentado la electricidad puede explicarse atendiendo a dos razones fundamentales:

La electricidad constituye el medio mas eficaz para transmitir otras formas de energía (mecánica, química, térmica, etc.) a grandes distancias y de forma casi instantánea.

La electricidad puede utilizarse en cantidades pequeñas muy controladas. De esta forma las señales eléctricas sirven para codificar, intercambiar y procesar información. Ésta es la razón primordial en la ingeniería eléctrica de nuestros días.

La historia de la electricidad es relativamente corta y en realidad las aplicaciones más interesantes de los grandes descubrimientos eléctricos se han empezado a desarrollar tan solo desde finales del siglo XIX. Estas aplicaciones, que han ido apareciendo conforme se ha hecho progresos en la ciencia eléctrica, pueden dividirse en dos grupos: los sistemas de energía y los sistemas de información.

El uso amplio así como el continuo desarrollo que ha experimentado la electricidad en nuestra sociedad hasta nuestros días, se explica debido a que la electricidad constituye un medio para transmitir otras formas de energía a grandes distancias y de forma rápida; tomando en cuenta que la electricidad puede llegar a utilizarse en cantidades pequeñas muy controladas, siendo así, que de ésta forma las señales eléctricas nos sirven para codificar, intercambiar y procesar información. La historia de la electricidad es reciente, apareciendo a finales del siglo XIX grandes aportaciones a ésta ciencia.

Es por ello que en ésta obra se ha pensado en la necesidad que tiene el estudiante de comprobar en el laboratorio los conceptos teóricos. Por lo cual se elaboró el presente material de laboratorio manejando dentro del contenido conceptos a comprobar, los circuitos utilizados en la diferentes pruebas a desarrollar y el procedimiento que se debe seguir en cada práctica, así como también, algunas preguntas sobre cada prueba, las cuales el estudiante deberá contestar y entregar al instructor a manera de reporte.

Los aspectos de este material están desarrollados de manera clara, sencilla y entendible con la finalidad de facilitar el aprendizaje de quien lo utilice.

MC SILVERIO M. CORDOVA ROMERO

Octubre 2013



COMPROBACIÓN DE LA LEY DE FARADAY, LEY DE LENZ Y DEL VALOR DE LA INDUCTANCIA

OBJETIVO

Comprobar la ley de Faraday, la ley de Lenz, el valor de la inductancia de un circuito magnético compuesto por material ferromagnético y el valor de la inductancia de un circuito magnético compuesto por material ferromagnético y aire.

MATERIAL NECESARIO

- | | |
|------------------|--------------------------------------------|
| 1 Bobina | 1 Autotransformador variable (0-127V.C.A.) |
| 1 Milivoltímetro | 1 Bobina de 600 espiras. |
| 1 Iman | 1 Núcleo de material ferromagnético |

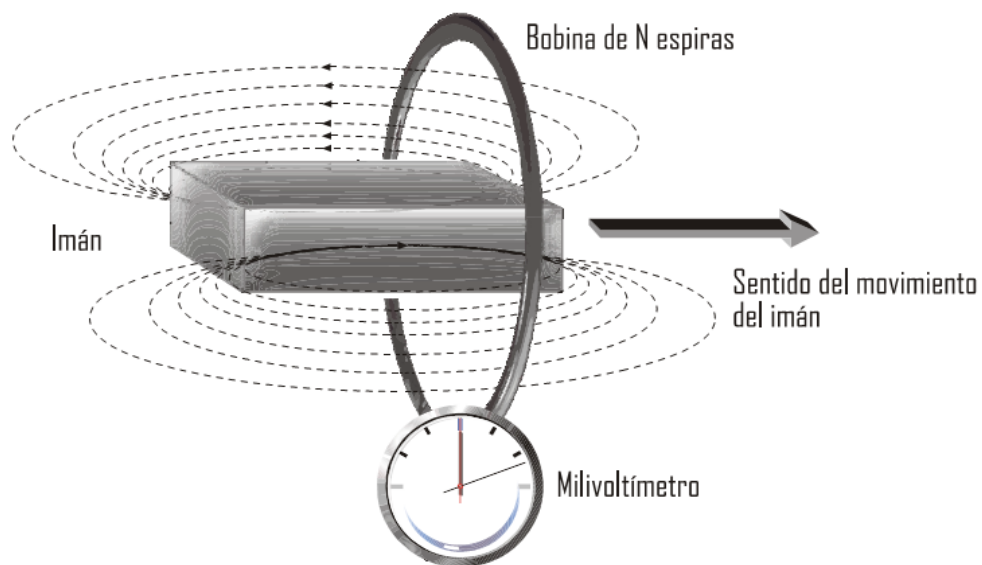
Referencia:

Ley de Faraday.- Si el flujo entrelazado con un circuito conductor varía, se induce un voltaje en dicho circuito, cuya magnitud es proporcional a la rapidez de la variación de flujo entrelazado con el circuito.

$$e = N (d\phi/dt)$$

PROCEDIMIENTO

1.-Efectuar un movimiento relativo entre una bobina conectada a un mili voltímetro, con el cero en el centro de la escala y un imán. Observar el desplazamiento de la aguja del mili voltímetro al variar el flujo entrelazado con la bobina debido al movimiento relativo entre ambos.

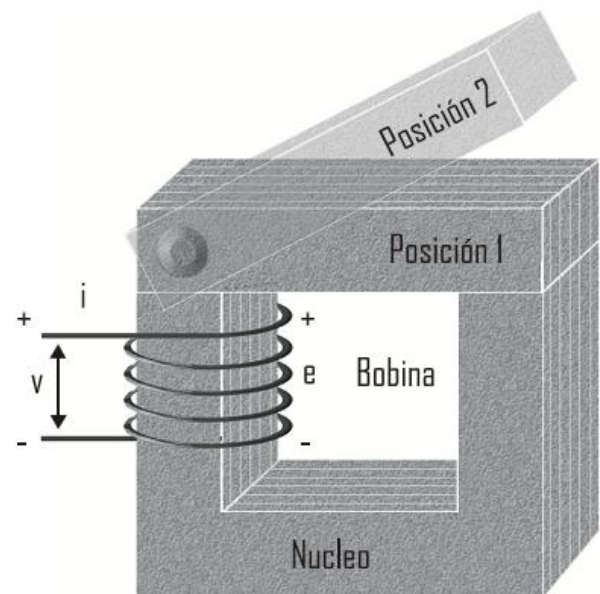


Referencia:

Ley de Lenz.- La corriente en un circuito conductor cerrado, producto de un voltaje inducido se opone a la variación de flujo que la produjo.

PROCEDIMIENTO

2.-Excitar una bobina que tiene un núcleo de material ferromagnético cerrado, el cual tiene la posibilidad de ser abierto en un punto. Observar el valor de la corriente cuando el núcleo está cerrado. Este valor de corriente está determinado por el voltaje aplicado a la bobina, y por el voltaje inducido en ella por el flujo variable que la entrelaza (despreciado la resistencia de la bobina y el flujo de fuga). El voltaje "e" inducido en la bobina por el flujo



variable que la entrelaza, producto de la corriente variable "i" que circula en la bobina al aplicar en sus terminales el voltaje "v", es opuesto a este último.

Referencia:

Inductancia.- La inductancia de un circuito magnético compuesto únicamente por material ferromagnético, es mayor que la inductancia del circuito cuando se introduce un espacio de aire.

PROCEDIMIENTO

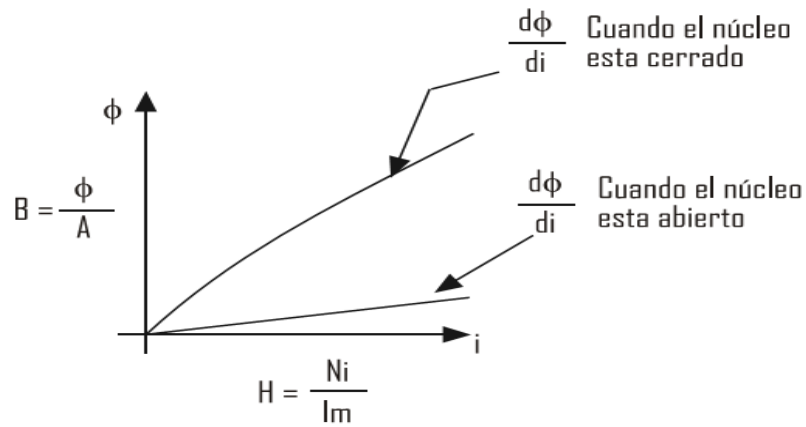
3.-En el núcleo mostrado en la figura anterior, se introduce un espacio de aire levantando ligeramente la parte móvil. Se observa un aumento de la corriente en la bobina, esto es debido a que al introducir el entrehierro (espacio de aire) en el circuito magnético del núcleo, la reluctancia de la trayectoria magnética aumenta, por lo tanto el flujo disminuye, disminuyendo la relación:

$$\text{como:} \quad L = N (d\phi/di)$$

$$\text{e:} \quad I = V/(j\omega L)$$

Entonces la corriente debe aumentar.

La variación de flujo se explica por medio de la curva de imanación de los materiales que componen el circuito magnético.





1.- ¿Qué sucede con el voltaje inducido al aumentar la velocidad del movimiento relativo entre el imán y la bobina?

2.-Justifique la respuesta anterior por medio de la siguiente expresión.

$$e = N (d\phi/dt) \text{ Volts}$$

3.-Enuncie la ley de Faraday

4.-Enuncie la ley de Lenz

5.-Diga a que se debe la forma de las curvas de imanación para el núcleo y para el aire mostradas en la figura de la gráfica anterior.



CURVA CARACTERÍSTICA DE UN MATERIAL FERROMAGNÉTICO

Obtención de la curva de imanación dinámica

(Curva de imanación) por el método voltímetro amperímetro.

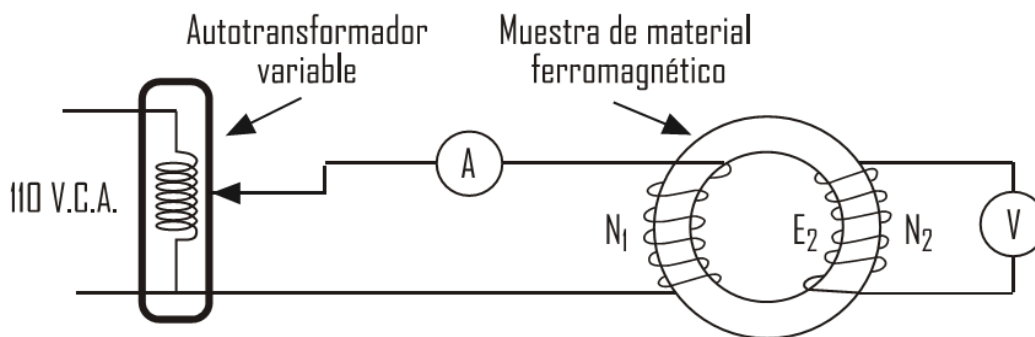
OBJETIVO

Familiarizarse con una forma experimental de obtener la curva de imanación de un material ferromagnético.

MATERIAL NECESARIO

- 1 Muestra de material ferromagnético
- 1 voltmetro C. A. (0-100) v
- 1 Autotransformador variable (0-127 V. C. A.)
- 1 Amperímetro C. A. (0-10) A
- 1 Miliamperímetro C. A. (0-1000) ma.
- 2 Terminales largas
- 2 Terminales medianas

Circuito



Datos

$N_1 = 420$ espiras

$l_m = 0.72$ m

$N_2 = 42$ espiras

$A = 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Referencia:

La curva de imanación nos muestra el comportamiento promedio de los materiales ferromagnéticos y nos da la inducción magnética "B" en función de la fuerza magnetizante o campo magnético "H".

Suponiendo una excitación senoidal, la fuerza magnetizante está dada por:

$$H = \frac{N I}{l_m} \quad \text{lenz} \quad \text{y} \quad H_{\text{máx}} = \frac{N_l I_{\text{máx}}}{l_m}$$

donde: $I_l = I_{\text{ef}}$ e $I_{\text{máx}} = \sqrt{2} I_{\text{ef}}$

entonces: $I_{\text{máx}} = \sqrt{2} I_l$

Por tanto: $H_{\text{máx}} = \frac{N_l \sqrt{2} I_{\text{ef}}}{l_m} \quad \text{lenz} \quad \text{Ec 1.}$

El valor eficaz de la máxima tensión inducida E_2 es:

$$E_2 = 4.44 f N_2 \phi_{\text{máx}} \quad \text{y como} \quad V_2 = E_2 \quad \text{Entonces} \quad V_2 = 4.44 f N_2 \phi_{\text{máx}}$$

despejando el flujo se tiene: $\phi_{\text{máx}} = \frac{V_2}{4.44 f N_2} \quad \text{wb}$

Si $B_{\text{máx}} = \frac{\phi_{\text{máx}}}{A}$ entonces: $B_{\text{máx}} = \frac{V_2}{4.44 f N_2 A} \quad \text{teslas} \quad \text{Ec. 2}$

PROCEDIMIENTO

- 1.-Conecte el círculo de acuerdo al diagrama anterior.
- 2.-Excite la muestra aumentando la corriente por pasos, tomando en cada paso las lecturas de voltaje y corriente. Debido a que los valores iniciales de corriente son del orden de miliamperes, es conveniente utilizar un amperímetro con escalas adecuadas para medición de pequeñas y relativamente altas corrientes. Tabúlense los valores de corriente y voltaje leídos, calcúlense los valores de H_{\max} (lenz) y B_{\max} (teslas)

I_{ef} (amps.)	E_{Zef} (volts)

H_{max} (lenz)	B_{max} (teslas)



- 1.-Trazar en una hoja de papel la curva de imanación graficando los valores de " H_{max} " en el eje de las abscisas y los de " B_{max} " en el eje de las ordenadas.
- 2.-Explique el significado del valor promedio y el valor eficaz de un voltaje inducido por un flujo variable senoidal y escriba las fórmulas de voltaje instantáneo, voltaje eficaz, voltaje promedio y voltaje máximo en función del flujo entrelazado y de la frecuencia.
- 3.-Explique que es magnetismo remanente y que es retentividad.
- 4.-Mencione tres propiedades de los materiales ferromagnéticos.



CURVA CARACTERÍSTICA DE UN MATERIAL FERROMAGNÉTICO

Obtención en el osciloscopio del lazo de histéresis

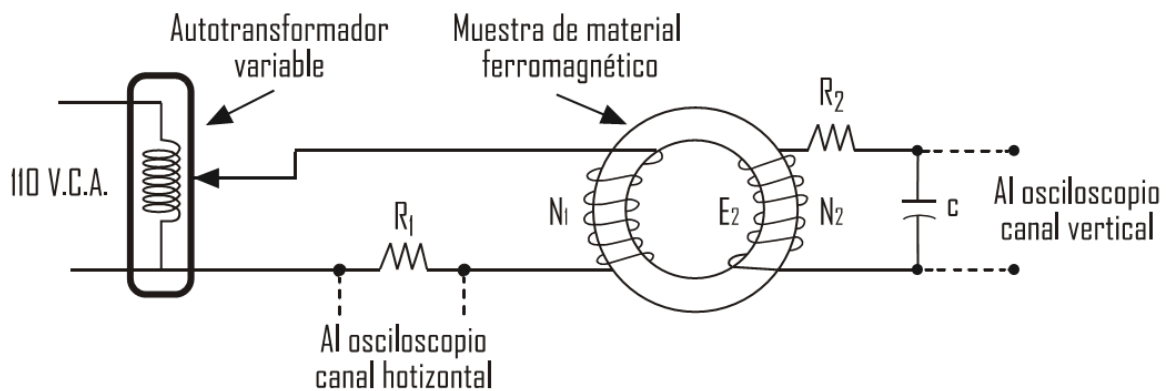
OBJETIVO

Familiarizarse con una forma experimental de obtener el lazo de histéresis de un material ferromagnético.

MATERIAL NECESARIO

1 Muestra de material ferromagnético	1 Resistencia de 2,000 ohms
1 Autotransformador variable (0-127 V.C.A.)	1 Reóstato de 0-2 ohms
1 Multímetro	4 Terminales largas
1 Condensador de 12.2 micro Faradios.	4 Terminales medianas

Circuito



Datos

$N_1 = 420$ espiras

$l_m = 0.72$ m

$N_2 = 42$ espiras

$A = 6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Referencia:

La señal suministrada al canal horizontal del osciloscopio es igual al voltaje a través de la resistencia "R_l" y nos dará la medida de la fuerza magnetizante "H" suministrada por el devanado excitador "N_l".

$$V_h = I_l R_l \qquad I_l = \frac{V_h}{R_l}$$

Sabiendo que la fuerza magnetizante es:

$$H = \frac{N_l I_l}{l_m} \qquad \text{Sustituyendo el valor de la corriente}$$

$$H = \frac{N_l V_h}{R_l l_m} \qquad \text{Donde } V_h \text{ estará en función de las deflexiones sufridas por el haz electrónico "d_h". Por tanto:}$$

$$V_h = K_h d_h \qquad \begin{array}{l} K_h = \text{constante en volts/cm} \\ d_h = \text{deflexión horizontal en cm} \end{array}$$

Entonces la ecuación de la fuerza magnetizante será:

$$H = \frac{N_l K_h d_h}{R_l l_m} \qquad \text{lenz} \qquad \text{Ec. I}$$

Si la señal de corriente suministrada es alterna, la señal de flujo también lo es; por lo tanto en el devanado receptor tendremos que:

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad \text{volts}$$

De acuerdo con el circuito este voltaje es igual:

$$e_2 = I_2 R_2 + \frac{q}{C}$$

Haciendo que la caída de voltaje en la resistencia sea mucho mayor que en el capacitor:

$$e_2 = I_2 R_2 \quad \text{donde} \quad I_2 = \frac{e_2}{R_2}$$

La señal suministrada al canal vertical es la tensión en el capacitor y es igual a:

$$V_V = \frac{1}{C} \int I_2 dt$$

Sustituyendo el valor de la corriente en función del voltaje inducido tendremos:

$$V_V = \frac{1}{C} \int \frac{e_2}{R_2} dt = \frac{N_2}{C R_2} \int_0^{\phi_{\max}} \frac{d\phi}{dt} dt = \frac{N_2 \phi_{\max}}{C R_2}$$

Donde:

$$\phi_{\max} = \frac{V_V C R_2}{N_2}$$

Como:

$$B = \phi / A$$

Entonces:

$$B = \frac{V_V C R_2}{N_2 A}$$

Donde:

$$V_V = K_V d_V$$

Y

$$B = \frac{C R_2 K_V d_V}{N_2 A} \quad \text{teslas} \quad \text{Ec. 2}$$

PROCEDIMIENTO

- 1.-Conecte el circuito de acuerdo con el diagrama.
- 2.-Encienda el osciloscopio.
- 3.-Aplique una señal de bajo voltaje (10 volts)
- 4.-Verifique las condiciones de la prueba y enseguida varíe los parámetros del circuito hasta obtener el lazo de histéresis.

5.-Tome las coordenadas de los puntos característicos principales de la curva " d_h ", " d_v " y tabúlense los valores.

d_h (deflexión horizontal) en cm.	d_v (deflexión vertical) en cm.

REPORTE

1.-Por medio de las ecuaciones 1 y 2 obtenga los valores de campo magnético "H" e inducción magnética "B" correspondientes a los diferentes valores de " d_h " y " d_v ".

B (Teslas)	H (Lenz)

2.-Trazar en una hoja de papel el lazo de histéresis graficando los valores de "B" contra los de "H" obtenidos anteriormente.



MEDICIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LOS MATERIALES FERROMAGNÉTICOS

OBJETIVO

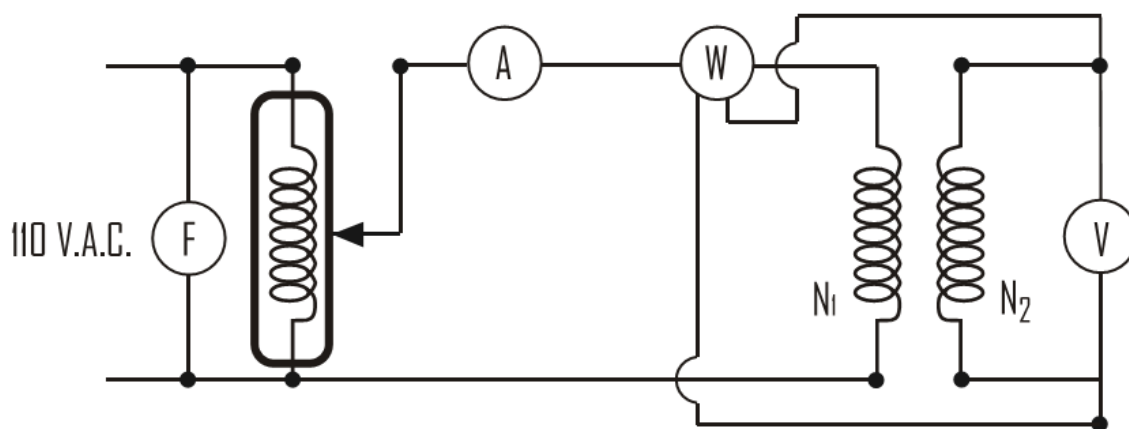
Familiarizarse con un procedimiento para la medición de las pérdidas en los materiales ferromagnéticos laminados y observar la influencia que tienen la frecuencia y la densidad de flujo sobre dichas pérdidas.

MATERIAL NECESARIO

- 1 Marco de Epstein
- 1 Muestra de material ferromagnético
- 1 Wattmetro monofásico de bajo factor de potencia
- 1 Amperímetro C.A. (0-5) amps.
- 1 Voltmetro C.A. (0-150) volts

- 1 Frecuencímetro
- 1 Autotransformador variable (0 -127 V.C.A)
- 1 Fuente de frecuencia variable
- 12 Terminales largas
- 4 Terminales medianas

Circuito



Datos

$N_1 = N_2 = 700$ espiras

$l_m = 100$ cm.

d (peso específico de la muestra) = 7.65 gr/cm^3

M (peso de la muestra = 3207 gr.

Referencia:

La prueba epstein es la forma normalizada para medir las pérdidas en los materiales ferromagnéticos laminadas a frecuencias comerciales y a inducciones magnéticas no mayores de 15,000 Gauss. Para determinar la influencia de la inducción magnética sobre las pérdidas, excitaremos la muestra con una señal de corriente senoidal, el wattmetro nos dará las pérdidas y con el voltmetro colocado en el devanado secundario tendremos una medida de la inducción magnética media.

$$B = \frac{V_2}{4.44 f N_2 A}$$

El área transversal de la muestra será dada en función del peso de la muestra, su peso específico y su longitud.

$$A = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Peso específico} \times \text{longitud}}$$

Así:

$$B = \frac{V_2 d I_m}{4.44 f N_2 M}$$

PROCEDIMIENTO

- 1.-Conecte el circuito de acuerdo con el diagrama.
- 2.-Excite con una corriente baja y verifique las condiciones de la prueba.
- 3.-A una frecuencia normalizada y una densidad lo más alta posible, reduzca la corriente por pasos, tomando las lecturas de frecuencia, corriente, potencia y voltaje.

F (Hz)	I ₁ (amps.)	W (watts)	V ₂ (volts)

Repita el experimento a otras dos frecuencias mínimo, procurando aplicar los mismos valores de voltaje que en la primera prueba.

F 2(Hz)	I ₁ (amps.)	W (watts)	V ₂ (volts)

F3 (Hz)	I ₁ (amps.)	W (watts)	V ₂ (volts)

REPORTE

- 1.-Haga una tabulación con los valores medidos para cada prueba.
- 2.-Trazar en una hoja de papel la curva que representa las pérdidas en watts/kg contra la densidad de flujo para cada prueba.
- 3.-Trazar en una hoja de papel la curva que representa las pérdidas en watts/kg contra frecuencia a una densidad de flujo constante.
- 4.-Diga cuales son los componentes de las pérdidas de núcleo y a que se deben.
- 5.-Determine las pérdidas por histéresis y por corrientes de foucault para la inducción magnética que haya considerado constante.



ESTUDIO ELEMENTAL DE UNA MÁQUINA DE CORRIENTE DIRECTA

OBJETIVO

Identificar los componentes de una máquina de corriente directa.

MATERIAL NECESARIO

1 Máquina de corriente directa seccionada

1 Multímetro digital

PROCEDIMIENTO

1.-Identificar las siguientes partes:

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| a) Núcleo de polo principal | f) Núcleo de armadura |
| b) Devanado de campo shunt | g) Devanado de armadura |
| c) Interpolos | h) Conmutador o colector |
| d) Devanado compensador | i) Escobillas |
| e) Estator | j) Portaescobillas |

2.-Medir la resistencia ohmica de cada uno de los devanados. Al medir la resistencia de armadura tome cuatro lecturas en diferentes posiciones del rotor y obtenga el promedio.

REPORTE

- 1.-En una hoja de papel haga un diagrama de la máquina mostrando todas sus partes y de una explicación breve de la función de cada una de ellas e incluya la resistencia de cada devanado.
- 2.-Explicar por qué el devanado de campo shunt tiene más vueltas y alambre más delgado que el devanado de campo serie.
- 3.-Hacer un diagrama mostrando la relación del interpolo al polo principal en un motor y en un generador.

- 4.-Exponer el enunciado de la ley de Faraday y el de la ley de Lenz.
- 5.-Explicar cómo puede determinarse el sentido del voltaje generado en un generador, conociendo el sentido de la rotación y la polaridad de los polos y como puede determinarse la rotación en un motor conociendo el sentido de la corriente en sus devanados y la polaridad de sus polos.
- 6.-Mencionar cuáles son los tipos de devanados de armadura vistos en clase y cuáles son sus características básicas.



CARACTERÍSTICAS DE VACIO DE UN GENERADOR DE C.D. EXCITADO POR SEPARADO Y AUTOEXCITADO

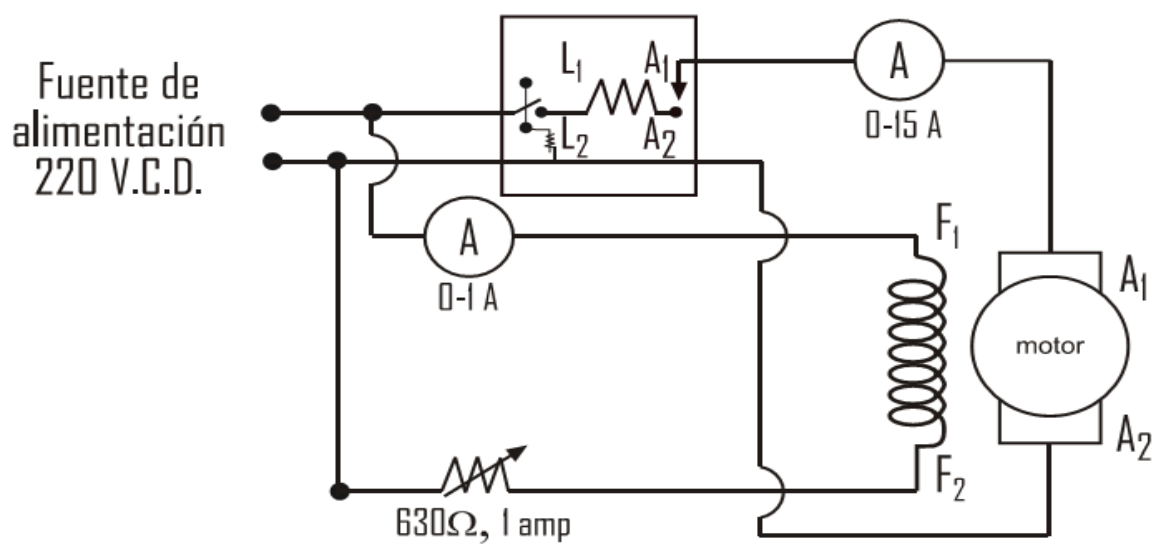
OBJETIVO

Determinar las relaciones entre la corriente de excitación, la velocidad y el voltaje en vacío de un generador excitado por separado y autoexcitado.

MATERIAL NECESARIO

- | | |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 Grupo motor generador de C. D. | 1 Reóstato de campo de 630 Ω 1 amp. |
| 1 Arrancador de C. D. | 1 Multímetro. |
| 1 Fuente de C. D. de 235 volts | 1 Reóstato de campo de 400 Ω 1 amp. |
| 1 Amperímetro de C. D. de 0-15 amps. | 13 Terminales medianas. |
| 2 Amperímetros de C. D. de 1 amp. | 5 Terminales cortas. |
| 1 Interruptor de cuchilla de un polo un tiro. | 1 Tacómetro. |

Circuito



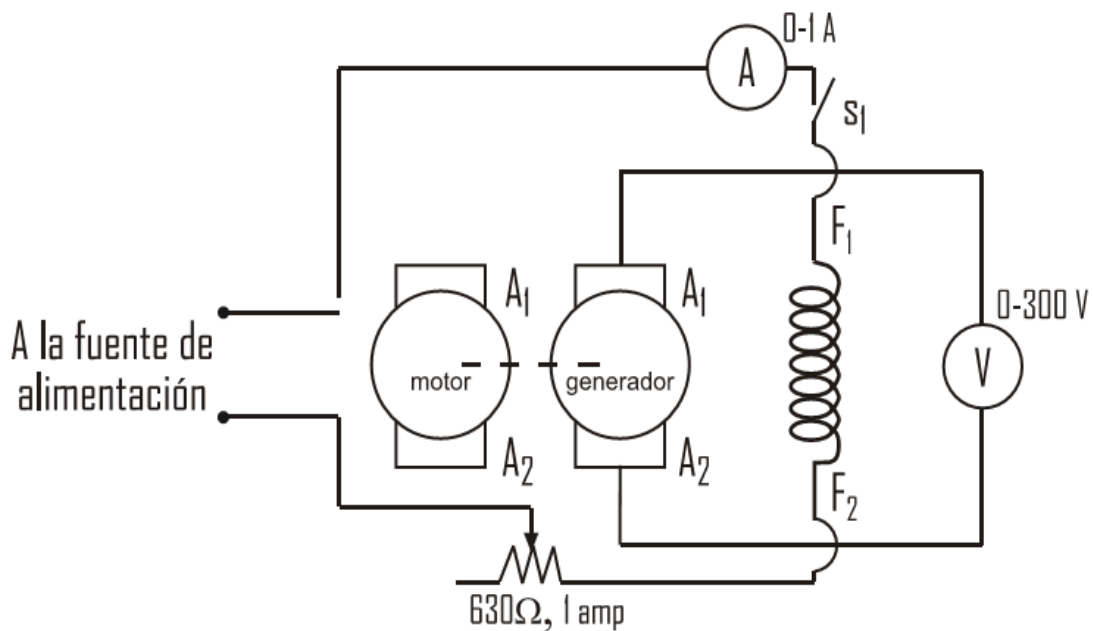


Diagrama de conexiones para un generador excitado por separado

PROCEDIMIENTO

1. Conecte el generador de acuerdo con el diagrama. Deje abierto el interruptor "s₁" del campo del generador, el reóstato de campo del motor en mínima resistencia y el reóstato de campo del generador en máxima resistencia. Téngase precaución en la polaridad y rango de los instrumentos.
2. Arranque la máquina y llévela a una velocidad de 1,100 rpm., por medio del reóstato del campo del motor. Tómese lectura del voltaje generado. Este es el voltaje inducido por el flujo remanente.

Característica de vacío.- Cierre el interruptor " s_f " del circuito de campo del generador y tome las lecturas de la corriente de campo " I_f " y del voltaje generador " E_0 " verificando que la velocidad se mantiene constante. Incremente por pasos la corriente de campo del generador tomando lecturas de la corriente de campo y del voltaje correspondiente en cada paso. Una vez que la corriente de campo alcance un valor de 0.8 amps; repita el procedimiento en forma descendente hasta llegar a corriente de campo cero. Asegúrese de no sobrepasar los límites de corriente de las máquinas y de los aparatos de medición así como de mantener la velocidad constante durante toda la prueba.

I_f (amps.)	E_0 (volts)	n (rpm.)

Efecto de la velocidad sobre el voltaje generado.- Ponga en marcha el generador y llévelo a la mínima velocidad posible colocando el reóstato de campo del motor en su posición de mínima resistencia. Excite el generador con una corriente de 0.3 amps., y tome la lectura del voltaje generado. Manteniendo constante la corriente de campo del generador, aumente la velocidad por pasos tomando lecturas de la velocidad y del voltaje generado correspondiente.

I_f (amps.)	E_0 (volts)	n (rpm.)

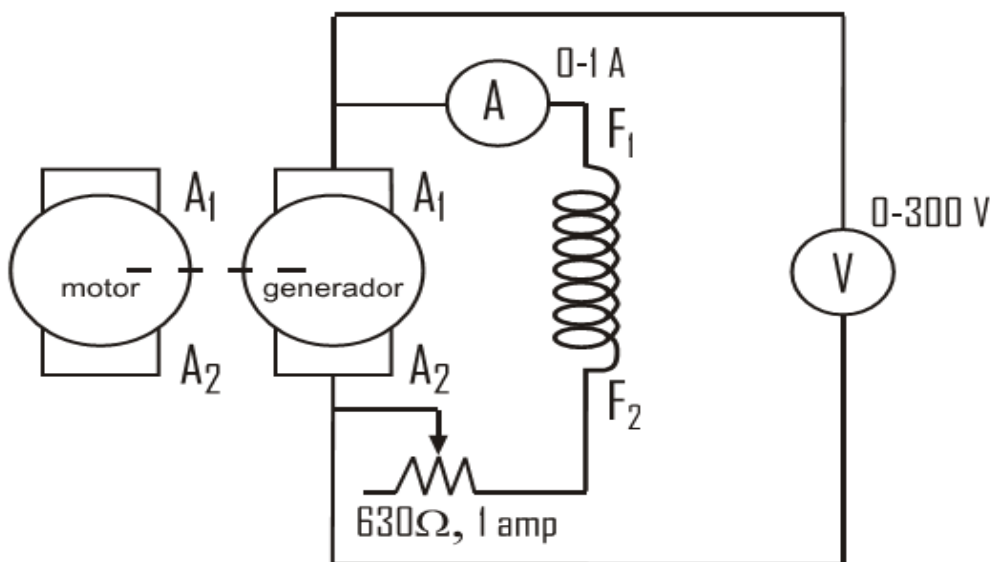


Diagrama de conexiones para un generador autoexcitado

PROCEDIMIENTO

- 1.-Conecte el generador de acuerdo con el diagrama y ajuste los reóstatos de campo del motor y del generador de tal manera que el valor del voltaje generado sea mínimo. Si el generador no produce voltaje puede deberse a que la bobina de campo está produciendo flujo en contra del magnetismo remanente o a que dicho magnetismo se perdió, en tal caso primeramente invierta las terminales " f_1, f_2 " de la bobina de campo y pruebe, si permanece la no generación detenga la marcha del generador y excite por separado su campo para restablecer el magnetismo remanente. El generador deberá producir voltaje.

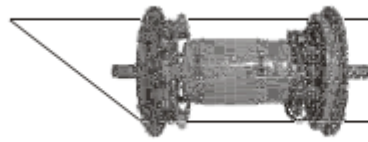
2.-Lleve la velocidad del generador a 1100 rpm y tome las lecturas de la corriente de campo y del voltaje correspondiente. Manteniendo constante la velocidad, incremente la corriente de campo por pasos tomando lecturas de dicha corriente y del voltaje correspondiente en cada paso. Con estos valores obtenga la característica de vacío del generador.

I_f (amps.)	E_0 (volts)	n (rpm.)

3.-Efecto de la velocidad sobre el voltaje generado. - Coloque una resistencia de valor constante en el campo del generador (reóstato de campo en su posición de media resistencia). Incremente la velocidad por pasos tomando lecturas de velocidad, corriente de campo y voltaje generado en cada paso desde a mínima velocidad posible hasta 1400 rpm. Obsérvese si el voltaje empieza a elevarse rápidamente en alguna velocidad y registre el valor de la velocidad a la que esto ocurre.



- 1.- Grafique las ramas ascendente y descendente de la curva característica de vacío y explique porqué para los mismos valores de corriente de campo se obtienen diferentes valores de voltaje en las dos ramas.
- 2.- Obtenga la curva de voltaje-velocidad graficando los valores de velocidad en el eje de las abscisas y los valores de voltaje en el eje de las ordenadas y explique porqué es una línea recta.
- 3.- ¿Por qué se recomienda que en el arranque se ponga el reóstato de campo del motor en mínima resistencia?
- 4.- ¿Cuál es la ecuación de voltaje y velocidad en las máquinas de corriente directa y que significa cada término en dicha ecuación?
- 5.- De acuerdo con su excitación, ¿Cómo se clasifican los generadores de corriente directa?
- 6.- Dibuje el diagrama de un arrancador con protección para apertura de circuito de campo.
- 7.- En una hoja de papel grafique los valores de corriente de campo y voltaje generado en la prueba de vacío para obtener la característica de vacío.
- 8.- Calcule el valor de la resistencia de campo crítica y explique su significado.
- 9.- Explique que se llama velocidad crítica y cuál fue su valor en la parte tres de la prueba del generador auto excitado.
- 10.- Explique el proceso de la generación de voltaje en un generador auto excitado, a que causas pueda deberse que la maquina no genere y como se corrigen.



PRACTICA

NUMERO 7

CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR EXCITADO POR SEPARADO Y AUTOEXCITADO PARALELO CON CARGA



OBJETIVO

Obtener las curvas que describen el comportamiento de la máquina de corriente directa y separar la caída de voltaje en sus componentes.



MATERIAL NECESARIO

1 Grupo motor-generator de C. D.

1 Reóstato de 630 Ω 1 amp.

1 Fuente de C. D. de 235 volts

1 Reóstato de 400 Ω 1 amp.

2 Amperímetros de C. D. de (0-15) amps.

1 Carga resistiva

2 Amperímetros de C. D. de (0-1) amp.

13 Terminales medianas

1 Multímetro

2 Terminales cortas

Circuito

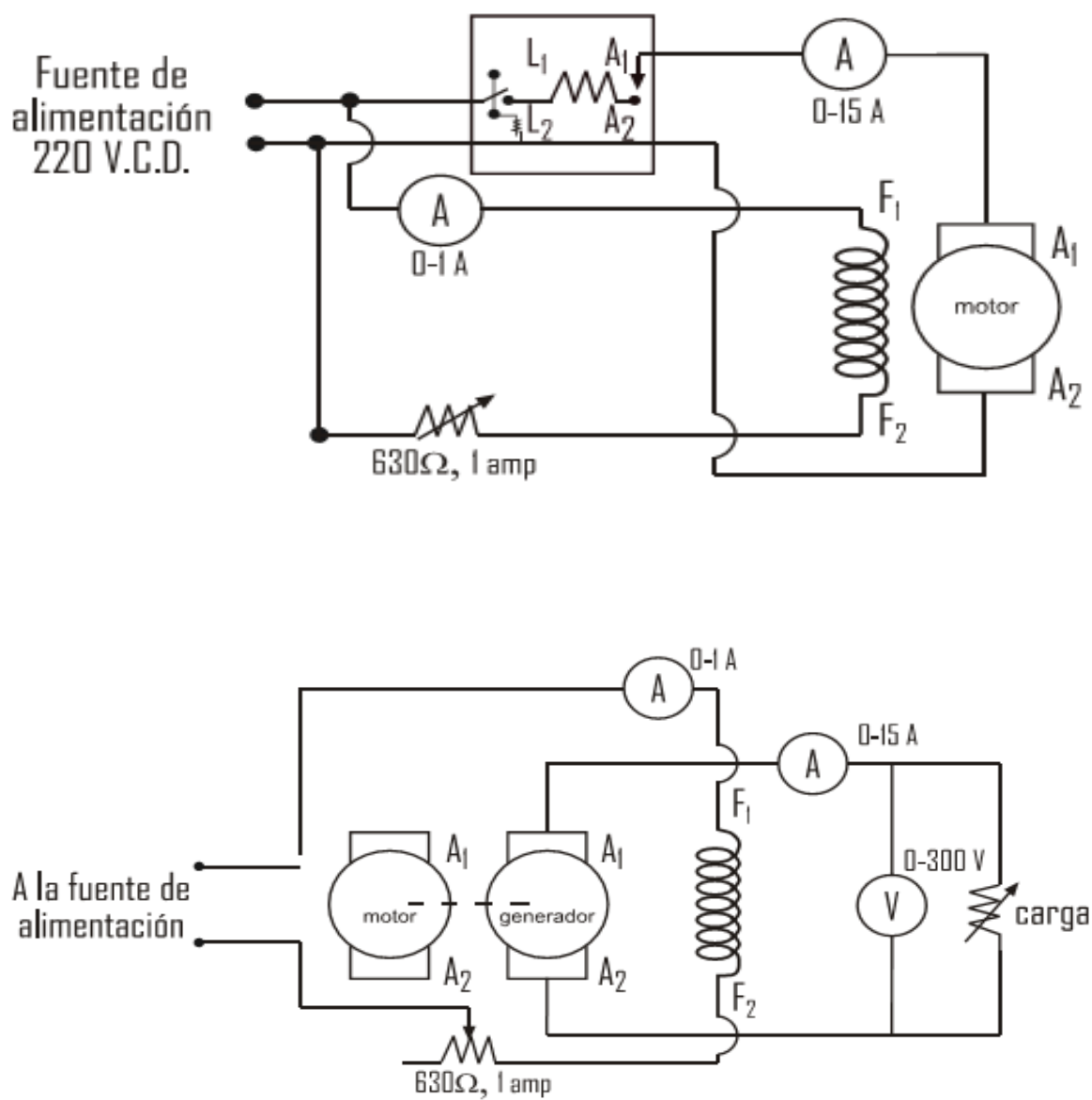


Diagrama de conexiones para un generador excitado por separado

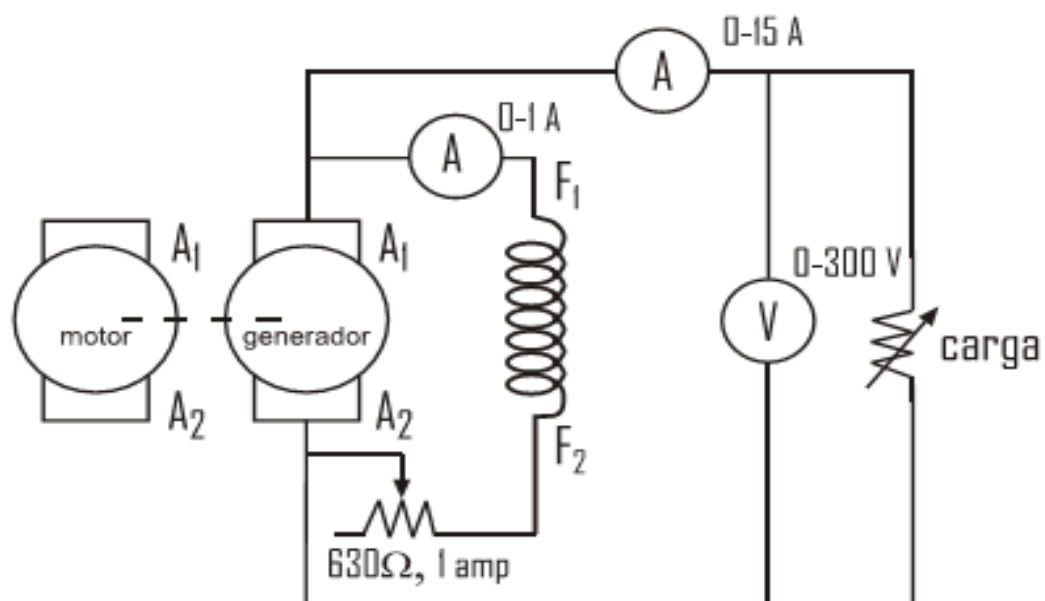


Diagrama de conexiones para un generador autoexcitado

PROCEDIMIENTO

1.-Conecte la máquina de acuerdo con el diagrama de conexiones correspondiente al generador excitado por separado y llévela a la velocidad de 1100 rpm. Por medio del reóstato de campo del motor, incremente la corriente de campo " I_f " hasta el valor requerido para generar en vacío el voltaje nominal del generador " $V = 220 \text{ v}$ ". Aumente la carga " I_a " del generador por pasos y manteniendo constante la corriente de campo " I_f " y la velocidad, tómense lecturas del voltaje en terminales " V " del generador y de la corriente de armadura " I_a " en cada paso. También tome nota del valor de la corriente de campo.

n (rpm.)	I_f (amps.)	I_a (amps.)	V (volts)

2.-Conecte la máquina de acuerdo con el diagrama de conexiones correspondiente al generador autoexcitado y llévela a la velocidad de 1100 rpm; ajustando la corriente de campo del motor. Por medio del reóstato de campo del generador, incremente el valor de la corriente de campo hasta el valor necesario para generar en vacío el voltaje nominal del generador (220 v). Manteniendo constante la velocidad aumente la carga del generador " I_a " por pasos tomando lecturas de la corriente de campo, la corriente de armadura y el voltaje en terminales del generador. Lévese el generador hasta las condiciones de corto circuito.

n rpm.)	I_f (amps.)	I_a (amps.)	V (volts)

3.-Con la máquina conectada como generador autoexcitado y a una velocidad constante de 1100 rpm; ajuste la carga y la excitación para obtener una corriente de armadura de 8 amperes y un voltaje de 100 volts en terminales del generador. Manteniendo constantes la velocidad y el voltaje disminuya la corriente de armadura (carga del generador) por pasos hasta llegar a cero, tomando las lecturas de corriente de carga y corriente de campo en cada paso.

n (rpm.)	I_f (amps.)	I_a (amps.)	V (volts.)



1.-Trazar en una hoja de papel y en los mismos ejes las siguientes curvas, y explique los resultados obtenidos al mover las escobillas.

- a) Característica Interna
- b) Característica Externa
- c) Caída de voltaje en la armadura contra la corriente de armadura.
- d) Característica de regulación.

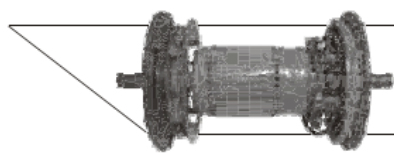
2.-Calcular el porciento de regulación a plena carga de:

- a) Generador excitado por separado
- b) Generador auto excitado

3.-Calcular la reacción de armadura "M'd" producida por una corriente de 8 amps. (auxiliarse con la característica de vacío correspondiente obtenida en la segunda práctica).

4.-Explique lo siguiente:

- a) A qué se debe que para un mismo valor de corriente de armadura, el voltaje disminuye en mayor proporción en un generador auto excitado que en un generador excitado por separado.
- b) Diga a que se debe que un generador auto excitado disminuye su corriente de armadura al producirse un corto circuito entre sus terminales de armadura.



PRACTICA

NUMERO 8

PRUEBA DE VACÍO DE UN MOTOR DE C. D. CON CAMPO EN DERIVACIÓN. CONTROL POR CAMPO

OBJETIVO

Determinar la relación entre la corriente de campo y la velocidad de un motor de C. D. con campo en derivación a voltaje constante. Analizar el efecto que tiene en el motor el corrimiento de escobillas sobre el conmutador así como el frenado dinámico de la máquina.

MATERIAL NECESARIO

1 Grupo motor-generador de C.D.

1 Multímetro.

1 Arrancador de C.D.

1 Reóstato de 630Ω 1 amp.

1 Fuente de C.D. de 235 volts.

1 Tacómetro

1 Amperímetro de C.D. de (0-15) amps.

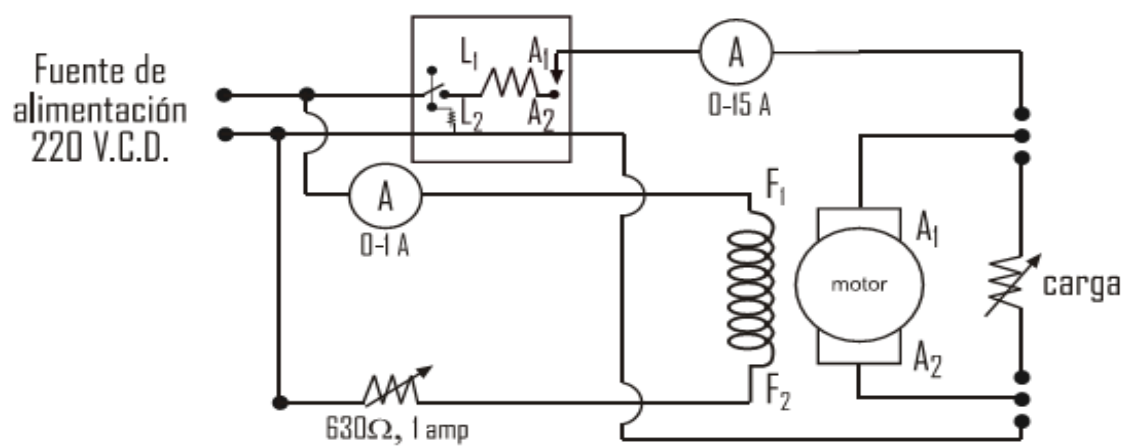
10 Terminales medianas

1 Amperímetro de C.D. de (0-1) amp.

5 Terminales cortas

1 Interruptor de cuchilla de 2 Polos 2 Tiros.

Circuito



PROCEDIMIENTO

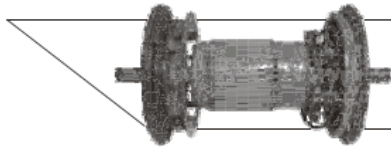
1.-Cerrando el interruptor de cuchillas en la posición en la que las líneas de alimentación quedan conectadas a la armadura y con el reóstato de campo en su posición de mínima resistencia (mínima velocidad), ponga en marcha el motor. Disminuya la corriente de campo " I_f " por pasos, tomando lectura de velocidad y corriente de campo en cada paso, (tabúlense los valores)

N (esp.)	I_f (amps.)

- 2.-Mueva las escobillas primero en un sentido y luego en el opuesto para observar el efecto sobre el flujo y la velocidad de la máquina.
- 3.-Frenado dinámico.- Estando en marcha el motor, accione el interruptor de cuchillas de 2 polos 2 tiros de tal forma que la armadura se desconecte de las líneas de alimentación y en sus terminales se conecte la carga.



- 1.-Obtenga la curva velocidad-corriente de campo graficando en el eje de las abscisas la corriente de campo y la velocidad en el eje de las ordenadas. Explique físicamente porqué a menos corriente de campo mayor velocidad. Justifique por la fórmula de voltaje.
- 2.-Explique los resultados obtenidos al mover las escobillas.
- 3.- ¿Por qué cuando una máquina no tiene interpolos, se puede corregir el chisporroteo desplazando las escobillas?
- 4.-Explique el freno dinámico.



PRACTICA

NUMERO 9

PRUEBA DE CARGA DE UN MOTOR DERIVACIÓN

OBJETIVO

Obtener las curvas de funcionamiento del motor.

MATERIAL NECESARIO

1 Dinamómetro

1 Motor de C. D. con campo en derivación.

1 Carga resistiva

1 Fuente de C. D. de 235 volts.

1 Arrancador de C. D.

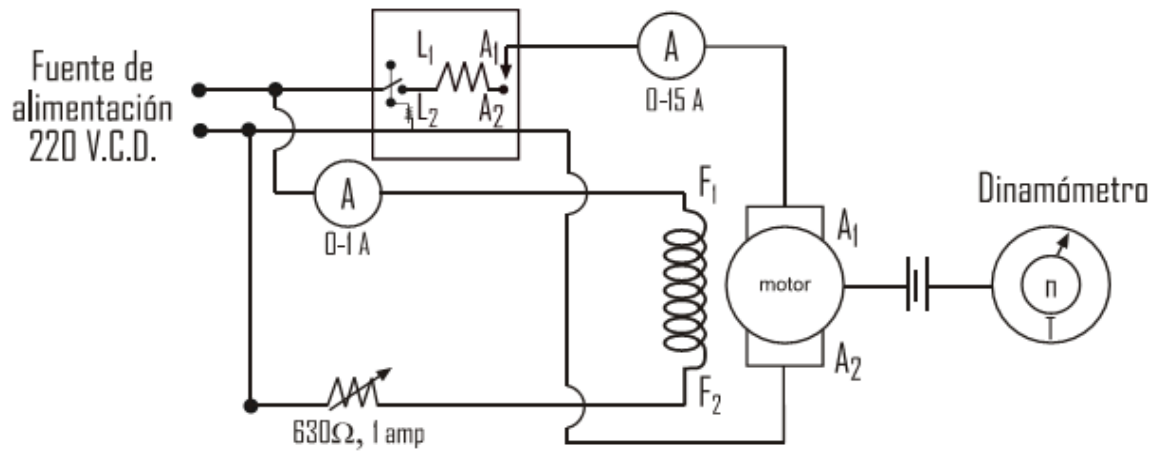
2 Amperímetros de C. D. de (0-15) amps.

1 Amperímetro de C. D. de (0-1) amp.

1 Reóstato de campo de 630 ohm 1 ampere.

10 terminales medianas.

Circuito



Dinamómetro.- Un dinamómetro es un aparato utilizado para medir el par entregado por un motor. Este dinamómetro se compone de una máquina de corriente directa y sus dispositivos de control. También dicho dinamómetro cuenta con aparatos de medición.

Referencia:

$$P_{\text{sal}} (\text{watts}) = T (\text{N} \cdot \text{m}) \times \omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right)$$

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right) = n \left(\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) \times 2\pi \left(\frac{\text{rad}}{\text{rev}} \right)$$

$$P_{\text{sal}} (\text{watts}) = T (\text{N} \cdot \text{m}) \times \frac{2\pi n}{60} \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right)$$

$$P_{\text{sal}} (\text{hp}) = \frac{2\pi T n}{60} (\text{watts}) \times \frac{1}{746} \left(\frac{\text{hp}}{\text{watts}} \right)$$

$$P_{\text{sal}} (\text{hp}) = \frac{T n}{9.55 \times 746}$$

$$P_{\text{sal}} (\text{hp}) = \frac{T (\text{N} \cdot \text{m}) \times n (\text{rpm})}{7123.8}$$

$$I = I_a + I_f$$

$$P_{\text{ent}} = V \times I (\text{watts})$$

$$\eta = \left(\frac{P_{\text{sal}}}{P_{\text{ent}}} \right) 100$$

PROCEDIMIENTO

1.-Acople el motor al dinamómetro y conócese de acuerdo con el diagrama. Arranque el motor y llévelo a 1100 rpm, por medio del reóstato de campo. Enseguida cargue el motor por medio del dinamómetro hasta que la corriente de armadura en el motor alcance su valor nominal.

Por medio de los reóstatos de campo y armadura de la máquina de C.D que es parte del dinamómetro, reduzca por pasos la carga del motor hasta llegar a cero par entregado por dicho motor, tomando las lecturas correspondientes de par "T", velocidad "n", corriente de campo " I_f ", corriente de armadura " I_a " y voltaje de alimentación al motor en cada paso.

T (N-m)	n (rpm.)	I_f (amps.)	I_a (amps.)	V (volts)

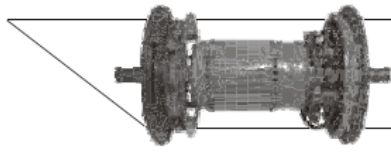
2.-Repita la prueba para una corriente de campo diferente.

T (N-m)	n (rpm.)	I _f (amps.)	I _a (amps.)	V (volts)



1. Explique para que se usa el arrancador en el motor.
2. ¿Qué ocurre si estando el motor en movimiento se abre el devanado de campo y a qué se debe?
3. En una hoja de papel grafique las curvas de par, velocidad, corriente de armadura y eficiencia contra potencia de salida en cada caso.

T (N-m)	n (rpm.)	I_a (amps.)	$P_{ent.}$ (watts)	$P_{sal.}$ (hp.)	η (%)



PRACTICA

NUMERO 10

PRUEBA DE CARGA EN UN MOTOR COMPOUND



OBJETIVO

Obtener las curvas que describen el funcionamiento del motor



MATERIAL NECESARIO

1 Motor de C. D.

1 Dinamómetro

1 Carga resistiva

1 Fuente de C.D. de 235 Volts.

1 Arrancador de C. D.

1 Amperímetro de C. D. de (0-15)
amps.

1 Amperímetro de C. D. de (0-1)
amps.

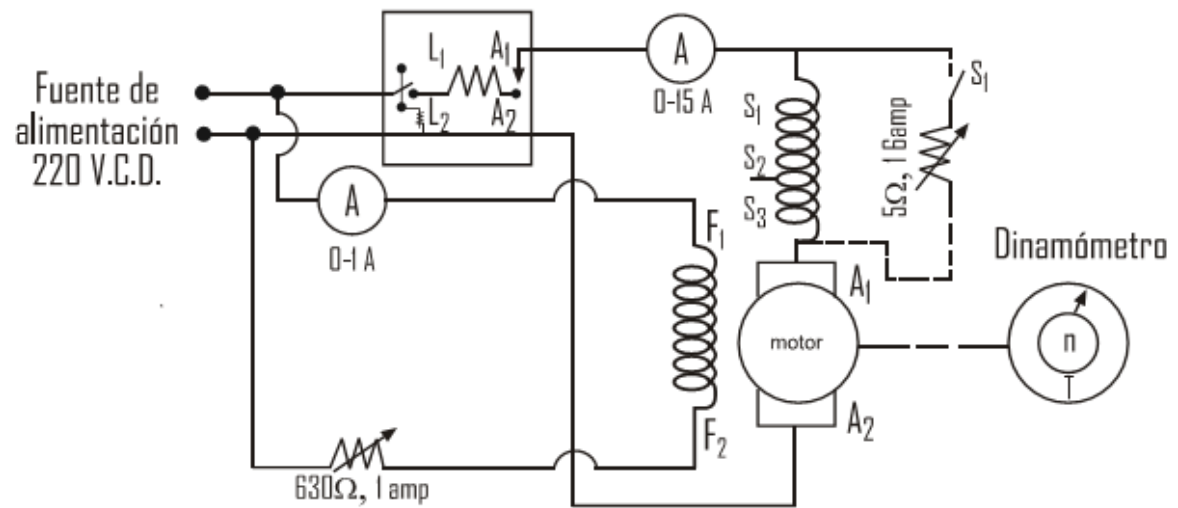
1 Reóstato de 630Ω 1 amp.

1 Reóstato de 5Ω 16 amp.

12 Terminales medianas

4 Terminales cortas

Circuito



Referencia:

$$P_{sal} (\text{watts}) = T (N - m) \times \omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right)$$

$$\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right) = n \left(\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \right) \times 2\pi \left(\frac{\text{rad}}{\text{rev}} \right)$$

$$P_{sal} (\text{watts}) = T (N - m) \times \frac{2\pi n}{60} \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right)$$

$$P_{sal} (\text{hp}) = \frac{2\pi T n}{60} (\text{watts}) \times \frac{1}{746} \left(\frac{\text{hp}}{\text{watts}} \right)$$

$$P_{sal} (\text{hp}) = \frac{T n}{9.55 \times 746}$$

$$P_{sal} (\text{hp}) = \frac{T (N - m) \times n (\text{rpm})}{7123.8}$$

$$I = I_a + I_f$$

$$P_{ent} = V \times I (\text{watts}) \qquad \eta = \left(\frac{P_{sal}}{P_{ent}} \right) 100$$

PROCEDIMIENTO

- 1.- Acople el motor al dinamómetro y conecte de acuerdo con si diagrama. Deje abierta el interruptor S_1 .
- 2.-Arranque el motor y llévela a 1100 rpm., por medio del reóstato de campo. Verifique que la conexión sea para compound acumulativo sobre compensado, utilizando las terminales " S_1-S_2 " o bien " S_1-S_3 " del campo serie. Enseguida cargue el motor por medio del dinamómetro hasta que la corriente de la armadura en el motor alcance su valor nominal.

3.-Por medio de las reóstatos de campo y armadura de la máquina de C. D. que es parte del dinamómetro, reduzca por pasos la carga del motor hasta llegar a cero par entregado por dicho motor, tomando las lecturas correspondientes de par "T", velocidad "n", corriente de campo " I_f ", corriente de armadura " I_a " y voltaje de alimentación al motor en cada paso.

T(N-m)	n(rpm.)	I_f (amps.)	I_a (amps.)	V(volts)

4-.Repita la prueba con el motor en conexión compound acumulativa bajo compensada, utilizando las terminales "S₂-S₃" del campo serie.

T(N-m)	n(rpm.)	I _f (amps.)	I _a (amps.)	V(volts.)

5.-Invierta la conexione de las terminales " S_2 - S_3 " del campo serie para obtener en el motor una conexión compound diferencial y repita la prueba.

T(N-m)	n(rpm.)	I_f (amps.)	I_a (amps.)	V(volts.)

1.-Grafique las curvas de par, velocidad, corriente de armadura y eficiencia contra la potencia de salida en cada caso.

$T(N\cdot m)$	$n(rpm.)$	$I_a(amps.)$	$P_{ent.}(watts)$	$P_{sal.}(hp.)$	$\eta(\%)$

2.-Compare las curvas obtenidas en las diferentes conexiones del motor y escriba sus conclusiones.

BIBLIOGRAFÍA

El amplio uso y el desarrollo creciente que ha experimentado la electricidad puede explicarse atendiendo a dos razones fundamentales:

CIRCUITOS MAGNETICOS Y TRANSFORMADORES

E.E. Staff del M.I.T.

ISBN 9788429130508

MAQUINAS DE CORRIENTE CONTINUA

LIWSCHITZ GARIK, MICHAEL WHIPPLE C

ISBN 9788470511011